

李娟,张帆,魏建民,等. 2023. 2021 年 10 月 15 日内蒙古阿鲁科尔沁旗 4.7 级地震发震构造研究. 中国地震, 39(1): 178~188.

2021 年 10 月 15 日内蒙古阿鲁科尔沁旗 4.7 级地震发震构造研究

李娟 张帆 魏建民 裴东洋

内蒙古自治区地震局, 呼和浩特 010010

摘要 2021 年 10 月 15 日, 内蒙古赤峰市阿鲁科尔沁旗发生 4.7 级地震, 该地震是继 2003 年 8 月 16 日阿鲁科尔沁旗 5.9 级地震后, 该区发生的第二次中等以上地震。使用 CAP 方法获取本次地震的震源机制解, 将其与 2003 年 5.9 级地震的震源机制解比较发现, 两次地震震源机制解结果基本一致, 节面 II 走向均为 NW, 且两次地震余震序列走向均为 NW 向展布, 结合地质构造资料, 判定两次地震的发震构造均为水泉子沟—天山口断裂。通过对 2012 年以来震源区及其附近区域的 22 个 $M_L \geq 3.5$ 地震的可靠震源机制解的研究分析, 发现通辽至阿鲁科尔沁旗一带震源机制解类型均为走滑型, 应力场反演结果显示该区应力场受 NNW 向拉张和 NEE 向挤压联合作用, 应力形因子 R 为 0.7, 表明近 EW 向的中间应力轴也具有拉张性质, 构造环境以拉张作用为主。本次 4.7 级地震可能是在 NNW 向和近 EW 向拉张以及 NEE 向挤压的作用力下, 水泉子沟—天山口断裂发生正走滑错动形成的一次中等强度地震。

关键词: 阿鲁科尔沁 4.7 级地震 震源机制解 应力场反演 发震构造

[文章编号] 1001-4683(2023)01-0178-11 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

据中国地震台网中心正式测定, 北京时间 2021 年 10 月 15 日 5 时 10 分内蒙古自治区赤峰市阿鲁科尔沁旗(44.20°N, 120.24°E)发生 4.7 级地震, 震源深度 15km。该地震震源区历史上较为平静, 本次地震是继 2003 年 8 月 16 日阿鲁科尔沁旗 5.9 级地震后, 该区发生的又一次中等以上地震, 两次地震震中相距 58km。许多学者对 2003 年阿鲁科尔沁旗 5.9 级地震的区域地质构造、发震断裂、震前异常等特征进行了研究。高孟潭等(2005)根据震源机制解、余震分布和震害分布特征, 分析了震源区物理力学性质, 并推断该地震发生在一个近 EW 走向的南倾断层上; 刘芳等(2004)基于精定位研究得出余震序列发展成 NWW 向展布, 结合震源机制解推测发震断裂为 NW 向断层。多项研究显示, 在震源区存在一条 NW 向断裂, 名为水泉子沟断裂(车时等, 2014)或水泉子沟—天山口断裂(杜龙等, 2009)。

发震构造的判定一直是地震研究的一个重要课题, 基于震源区已有地质构造研究, 通过对主震震源机制解和震源破裂面特征以及余震分布优势方向, 可判定主震可能的发震构造

[收稿日期] 2022-07-28 [修定日期] 2022-10-08

[项目类别] 中国地震局地震科技星火计划(XH20015Y)、震情跟踪定向工作任务(222010132、2022010135)共同资助

[作者简介] 李娟, 女, 1987 生, 工程师, 主要从事地震活动性、数字地震学方面的研究。E-mail: lijuanlia@163.com

(李金等, 2021; 龙锋等, 2021), 同时也会结合地震烈度等震线展布形态(易桂喜等, 2019; 姚远等, 2016)以及区域构造应力场研究结果(孙昭杰等, 2018; 徐杰等, 2001)进行判定。通过模板匹配方法对台网目录遗漏事件进行检测, 增加精定位的余震数量, 对余震分布优势方向的确定以及发震构造判定起到了很大作用(谭毅培等, 2014; 张晖等, 2021)。本文查阅大量震源区地质构造资料, 通过与 2003 年阿鲁科尔沁旗 5.9 级地震的震源机制解资料相比较, 结合阿鲁科尔沁旗 4.7 级地震余震分布判定其发震构造; 并使用 CAP 方法反演 2012 年以来震源区周边 $M_s \geq 3.0$ 地震的震源机制解, 对该区构造应力场特征进行了分析。

1 地质构造背景及历史地震

本次阿鲁科尔沁旗 4.7 级地震发生在大兴安岭隆起和松辽盆地交汇地区, 震中附近共发育三组断裂, 分别为 NE 向、EW 向和 NW 向断裂。NE 向断裂主要分布在大兴安岭隆起带, 是隆起带主体构造线的一部分, 有大兴安岭主脊断裂、甘珠尔庙—乌兰浩特断裂和嫩江断裂等; EW 向断裂主要展布在松辽盆地及边缘, 长度较大, 有西拉木伦河断裂、川井—赤峰断裂、养畜牧河断裂和西辽河断裂等; NW 向断裂最少, 长度最短, 卫星照片解译显示有线性构造, 沿河谷发育(车时等, 2014), 通过野外地质地貌调查, 发现了 NW 向断裂即水泉子沟—天山口断裂, 该断裂为一条中新更世活动断裂, 断层活动以正断层为主, 兼有少量左旋走滑分量, 倾向 SSW—SW, 倾角 $51^\circ \sim 70^\circ$, 长约 53km(杜龙等, 2009)。阿鲁科尔沁旗 4.7 级地震位于水泉子沟—天山口断裂 NE 向约 30km 处(图 1、表 1)。

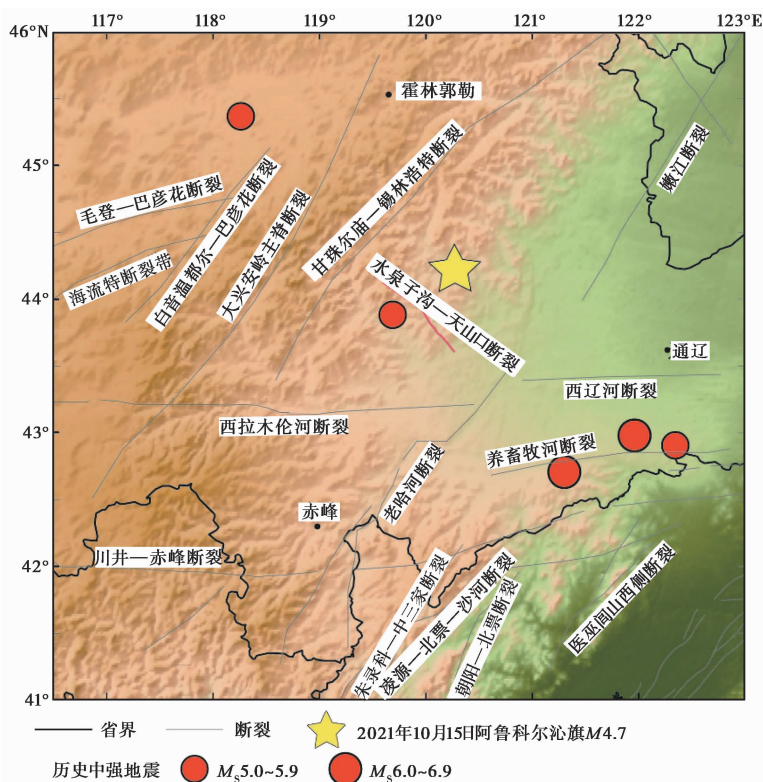


图 1 阿鲁科尔沁旗 4.7 级地震震源区地质构造简图及历史地震分布



表 1 1900 年以来阿鲁科尔沁旗 4.7 级地震震源区 5 级以上历史地震

时间(年-月-日)	纬度/°N	经度/°E	震中位置	震级(M_s)
1940-01-19	42.70	121.30	内蒙古库伦旗西	6.0
1942-07-09	43.00	122.00	内蒙古通辽一带	6.0
2003-08-16	43.92	119.87	内蒙古赤峰市阿鲁科尔沁旗	5.9
2004-03-24	45.38	118.25	内蒙古锡林郭勒盟东乌珠穆沁旗	5.9
2013-04-22	42.90	122.40	内蒙古通辽市科尔沁左翼后旗	5.3

1900 年以来该区共发生 5 次 5 级以上地震,其中距离阿鲁科尔沁旗 4.7 级地震最近为 2003 年阿鲁科尔沁旗 5.9 级地震,震中相距 58km,后者位于水泉子沟一天山口断裂西南侧约 20km 处。2003 年阿鲁科尔沁旗 5.9 级地震受控于 NW 向断裂(车时等,2014;杜龙等,2009),2004 年东乌珠穆沁旗 5.9 级地震受控于 NE 向断裂(车时等,2014),1940 年库伦 6.0 级、1942 年通辽 6.0 级、2013 年科尔沁左翼后旗 5.3 级地震均受控于近 ES 向断裂(德力格尔等,1989;蒋海昆等,2019)。

2 震源机制解计算

本文利用内蒙古地震台测震台网提供的阿鲁科尔沁旗区域台网时间波形记录,采用 CAP 方法(Zhu et al,1996)反演震源机制解,使用震中距小于 300km 且信噪比较高的台站记录数据,符合条件的台站共 10 个,台站分布见图 2。其中 9 个台站属于内蒙古台网,1 个台站属于河北台网。研究用到的 10 个台站分布在阿鲁科尔沁旗 4.7 级地震周围,分布较为均匀。根据 crust1.0^①地壳速度模型(图 3),震源区地壳厚度为 34.67km,地壳厚度被分为 4 层。

根据 CAP 波形拟合结果显示,各台面波段拟合效果较好,观测波形与理论波形的拟合程度基本均在 80% 以上,体波段拟合效果相对较差,可能由所使用的模型与实际速度结构存在差异所致。结果显示,阿鲁科尔沁旗 4.7 级地震节面 I 走向 47°、倾角 71°、滑动角-139°;节面 II 走向 301°、倾角 52°、滑动角-25°。震源机制解类型以走滑为主,兼具正断性质(图 4)。

为对比本次地震与 2003 年阿鲁科尔沁旗 5.9 级地震的震源机制解,收集了三个机构对后者震源机制解的计算结果(表 2、图 5)。USGS 和 GCMT 两个机构给出的 2003 年阿鲁科尔沁旗 5.9 级地震震源机制解结果一致,与车时等(2014)给出的结果较为相似,但略有差别。使用 FMcenter 程序(万永革,2019)计算中心解,结果显示,本次地震与 2003 年 5.9 级地震震源机制类型一致,均为走滑兼具正断性质;两次地震的压应力轴和张应力轴走向较为一致;两节面走向较为一致,均为 NE 向及 NW 向。总体来看,两次地震的震源机制解结果较为一致,说明两次地震受到的区域构造应力作用较为一致。

3 余震序列

截至 2021 年 12 月 31 日,内蒙古测震台网共记录到可定位阿鲁科尔沁旗 4.7 级地震序

^① <https://igppweb.ucsd.edu/~gabi/crust1.html#download>



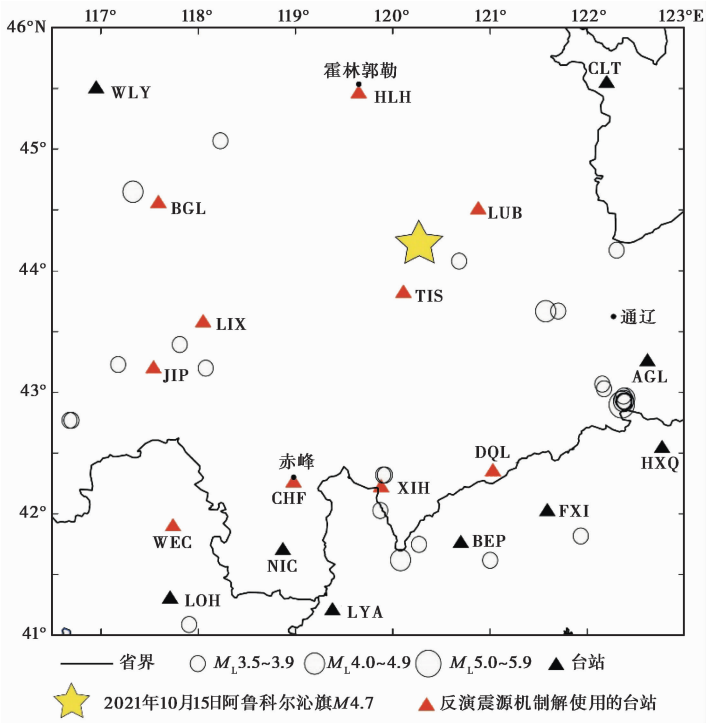


图2 阿鲁科尔沁旗 4.7 级地震震源区测震台站及 2013 年以来 $M_L \geq 3.5$ 地震分布

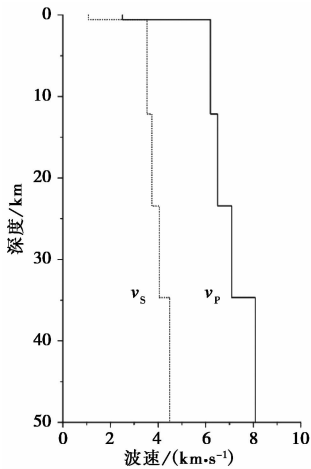
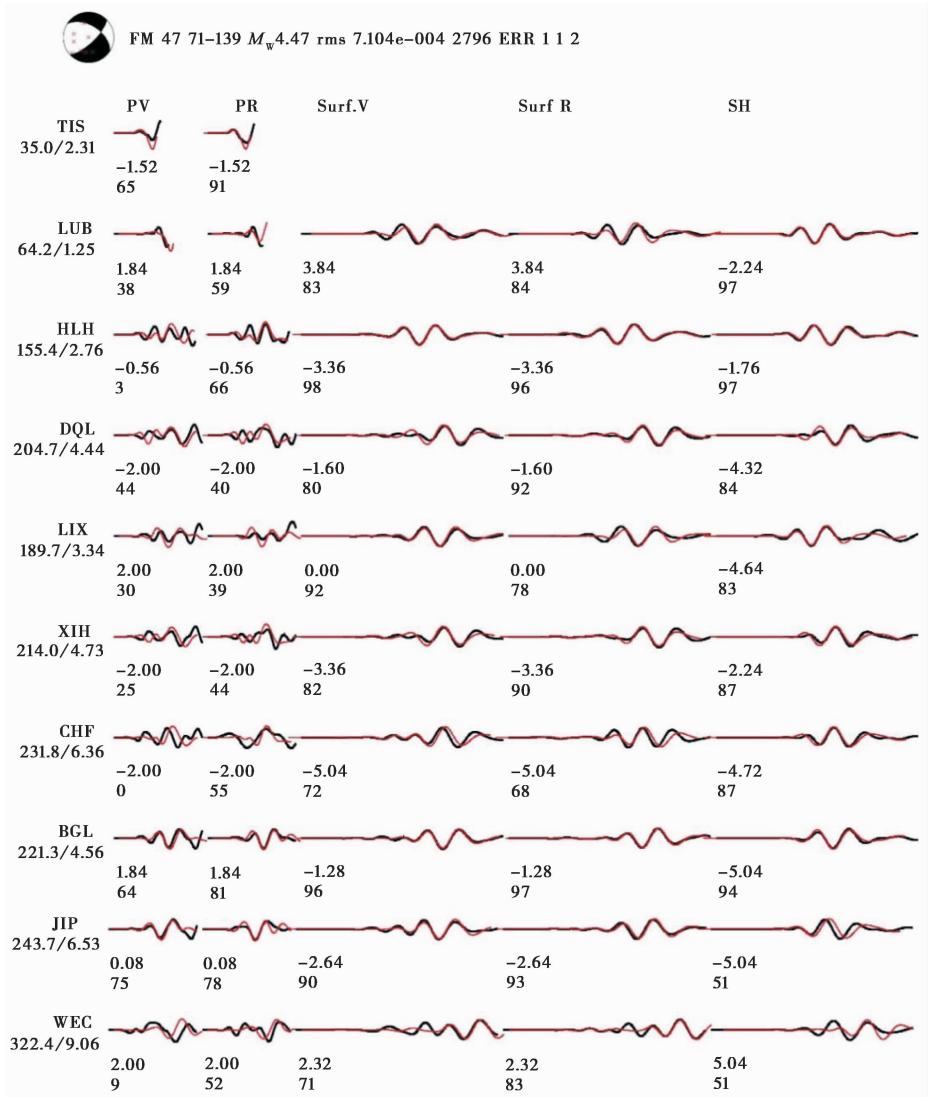


图3 地壳速度模型

列 $M_L \geq 1.0$ 地震 21 次,其中, $M_L 1.0 \sim 1.9$ 地震 2 次, $M_L 2.0 \sim 2.9$ 地震 14 次, $M_L 3.0 \sim 3.9$ 地震 4 次, $M_L 5.0 \sim 5.9$ 地震 1 次,为 $M_L 5.1$ ($M_S 4.7$) 主震(图6)。本次地震无前震,最大余震为震后 23min 发生的 $M_L 3.5$ ($M_S 2.9$) 地震,震级差 ΔM_S 为 1.8。根据地震序列类型分类标准(蒋海昆等,2006),阿鲁科尔沁旗 4.7 级地震序列属于主震-余震型。

本次地震序列发生在大兴安岭隆起区与松辽盆地交汇部位,阿鲁科尔沁旗 4.7 级地震以北为大兴安岭隆起区,本次地震以南为松辽盆地。从余震空间分布(图6(c))中可以看



注:理论地震波形(红色)与实际观测地震波形(黑色)波形图下方第一行数字为理论地震波形相对实际观测波形的移动时间,正值表示理论波形相对观测波形提前到达;第二行数字为理论波形与观测波形的相关系数(百分比);沙滩球上的红色十字为参与反演的各个台站在震源球上的投影。

图4 阿鲁科尔沁旗4.7级地震矩张量反演结果

出,余震呈NW向展布,长约7km。主震发生后,余震更易在结构不稳定区域发生,阿鲁科尔沁旗4.7级地震的余震主要位于主震NW侧,向大兴安岭隆起区所在方向延伸,未向松辽盆地方向发育,表明相比松辽盆地,大兴安岭隆起区地下结构破碎,结构相对不稳定。

余震沿NW向展布,与主震震源机制解节面Ⅱ走向一致。因此,本文推测节面Ⅱ为实际破裂面,即本次地震可能受到一条走向为NW向、倾向为NE—SW、倾角为52°的左旋走滑兼具正断性质的断层控制。

表2 阿鲁科尔沁旗4.7级地震与2003年阿鲁科尔沁旗5.9级地震的震源机制解结果

结果来源	地震	节面Ⅰ/(°)			节面Ⅱ/(°)			P轴/(°)		T轴/(°)		B轴/(°)	
		走向	倾角	滑动角	走向	倾角	滑动角	走向	仰角	走向	仰角	走向	仰角
本文	阿鲁科尔沁旗4.7级	47	71	-139	301	52	-25	271	42	170	12	67	46
USGS/GCMT ^②	阿鲁科尔沁旗5.9级	317	57	10	222	82	146	274	17	174	29	30	55
《中国震例》	阿鲁科尔沁旗5.9级	200	65	154	319	70	30	268	17	177	68	7	52
中心解 ^③	阿鲁科尔沁旗5.9级	211	74	151	310	62	19	262	7	167	32	4	57

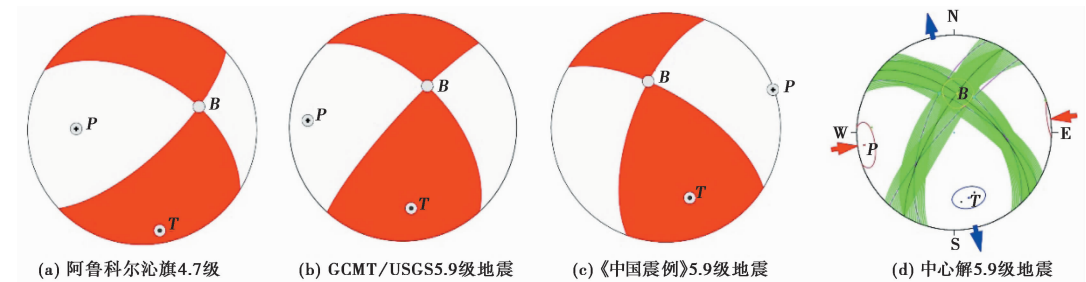


图5 阿鲁科尔沁旗4.7级地震与2003年阿鲁科尔沁旗5.9级地震的震源机制解

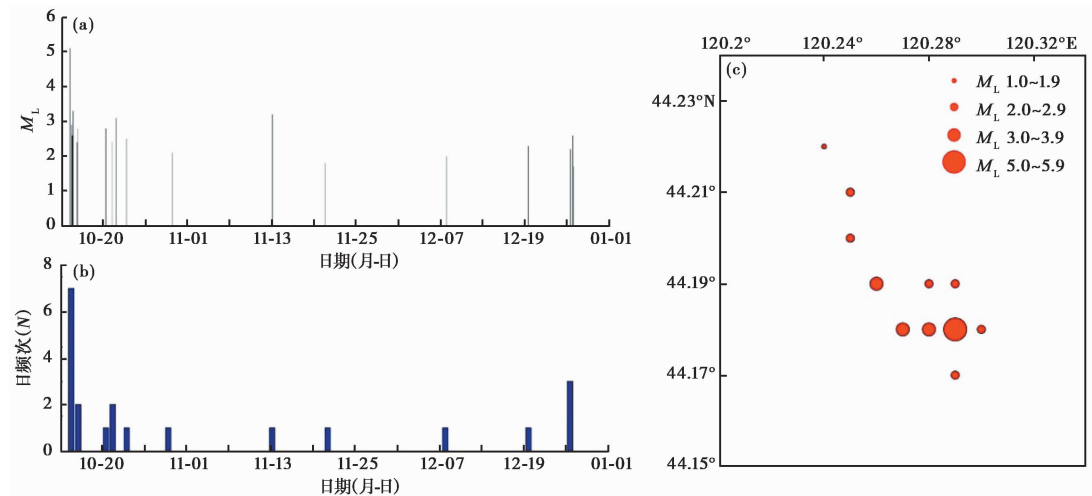
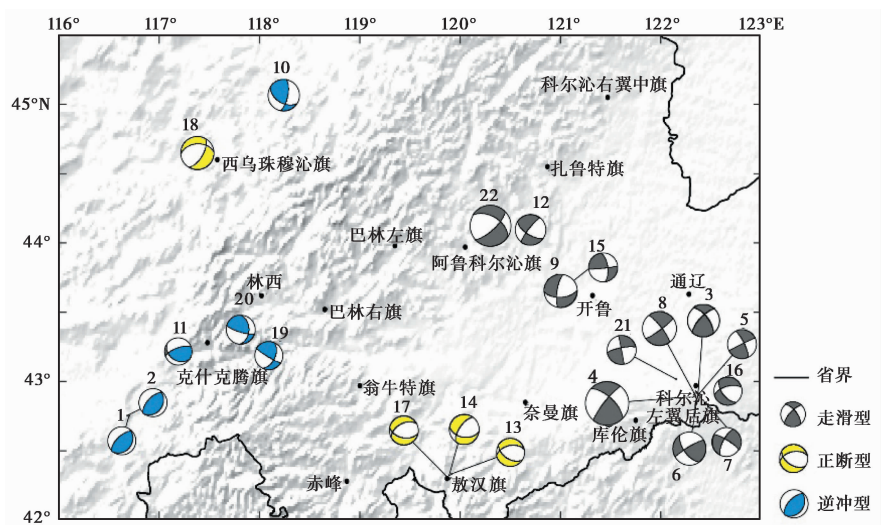


图6 阿鲁科尔沁旗4.7级地震序列 $M-t$ 图(a)、 $N-t$ 图(b)和空间分布(c)

4 区域构造应力场反演

为了解震源区及周边震源机制解类型,从而反演震源区构造应力场,本文利用CAP反演方法获取了2012年以来震源区及其附近区域的22个 $M_L \geq 3.5$ 地震可靠的震源机制解和矩震级,结果见图7和表3。

② USGS(美国地质勘探局):<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/usp000c534/moment-tensor>
GCMT(全球质心矩张量):<http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>
③ 中心解:使用FMcenter程序计算(万永革,2019)



注：图中序号对应表3中序号。

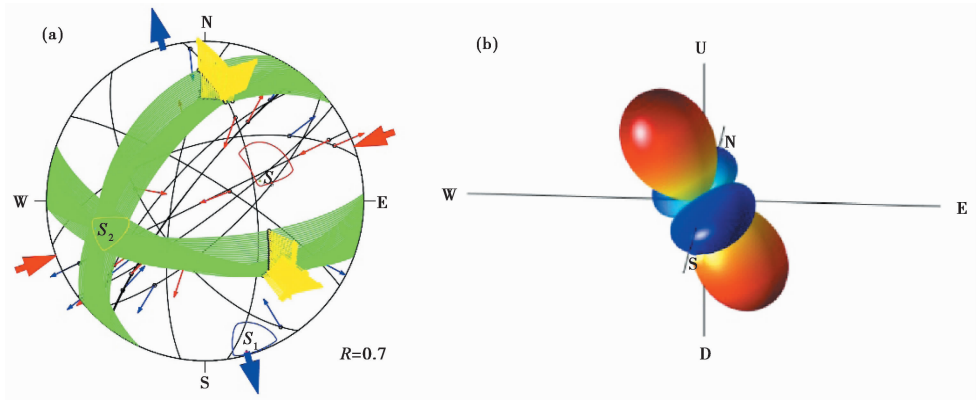
图7 阿鲁科尔沁旗4.7级地震震源区及附近区域2012年以来 $M_L \geq 3.5$ 地震震源机制解分布

根据震源机制解类型的空间分布特征(图7)可知,本次阿鲁科尔沁旗4.7级地震震源区及周边区域震源机制类型主要有三种:克什克腾旗周边主要以逆冲型为主,敖汉旗周边主要以正断型为主,科尔沁左翼后旗至阿鲁科尔沁旗一带以走滑型为主。西乌珠穆沁旗附近震源机制解结果较少,类型没有明显特征。造成震源机制解类型有明显分区特征的原因,可能是受控于不同性质的断层所致。考虑到研究区震源机制解类型分区明确,且不同类型的震源机制解所受应力环境可能有所不同,采用 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 网格搜索法(Wan et al, 2016)对通辽至阿鲁科尔沁旗一带走滑型地震进行相对精细的应力场反演,可以得到更为精确的应力场环境结果。反演时,由于不同震级地震对应应力场反演的影响不同,对3.5~3.9级地震赋权重1.0,对4.0~4.5级地震赋权重1.2,对4.6~4.9级地震赋权重1.4,对5.0级以上震级赋权重1.6。通过程序计算得到最优解和应力场的不确定范围见表3,压缩轴最优解走向 70.02° ,走向NEE向,倾角 59.86° ;中间轴应力走向 256° ,倾角 30° ;拉张轴走向 164.5° ,走向NNW,倾角 2.6° ;应力形因子 R 为0.7(图8、表4)。

根据万永革(2015)对应力形因子的定义, R 值表示3个应力轴值之间的相对大小。当 $R=0.5$ 时,应力张量的本征值呈等差排列; R 值越大,中间应力轴表现为张应力状态越明显; R 值越小,中间应力轴表现的压应力状态越明显。本文 R 为0.7,表明中间应力轴向张应力轴靠近,中间应力轴也具有张应力性质,即研究区不仅受到NNW向张应力的作用,同时也受到近EW向(256°)的张应力作用。结合该地区地质构造条件,研究区位于松辽盆地西边界,受太平洋板块向欧亚陆块俯冲作用,松辽盆地内部岩浆物质上涌,造成新第三纪以来松辽盆地扩张,又受到青藏块体向北运移挤压的联合作用,致使松辽盆地形成以NEE向压应力场、NNW向和近EW向张应力场为主的构造应力环境。本文对构造应力场的研究结果与前人研究成果一致(余中元等,2015;李娟等,2002;石伟等,2008;姚立珣等,1992),但相比前人研究成果加入了应力形因子的研究,使应力场研究结果更为丰富。

表 3 阿鲁科尔沁旗 4.7 级地震震源区及附近区域 2012 年以来 $M_L \geq 3.5$ 地震震源机制解结果

序号	发震日期 (年-月-日)	震中位置		节面 I / (°)			P 轴 / (°)		T 轴 / (°)		B 轴 / (°)		震级		
		经度 /°E	纬度 /°N	走向	倾角	滑动角	走向	仰角	走向	仰角	走向	仰角	M_w	M_s	M_L
1	2012-05-03	116.70	42.77	38	27	83	313	19	143	71	44	3	3.6		3.5
2	2012-05-03	116.68	42.77	34	30	82	309	16	144	74	41	4	3.4		3.5
3	2013-01-21	122.37	42.93	223	71	153	274	4	181	32	10	57	4.0		4.3
4 ④	2013-04-22	122.32	42.91	313	65	11	268	10	173	25	18	63	5.0	5.3	
5	2013-04-24	122.38	42.93	64	90	-167	290	9	198	9	64	77	4.1		3.6
6	2013-04-25	122.37	42.93	239	81	28	9	13	105	26	255	61	3.8		4.1
7	2013-04-30	122.38	42.92	302	79	-158	167	23	73	7	327	66	4.1		3.6
8	2013-05-10	122.34	42.93	322	79	-8	278	13	188	2	88	76	3.9		4.2
9	2013-05-21	121.58	43.68	88	58	-20	53	35	316	10	213	53	4.0		4.1
10	2013-12-25	118.24	45.08	122	49	30	70	11	328	47	170	40	3.7		3.9
11	2014-07-08	117.19	43.24	250	68	63	0	19	123	58	261	25	3.7		3.4
12	2017-12-02	120.70	44.12	123	64	-11	83	25	348	11	237	62	4.0		3.8
13	2018-02-23	119.91	42.34	123	51	-57	98	65	190	1	280	25	3.5		3.5
14	2018-04-10	119.89	42.33	98	48	-37	75	52	333	9	236	36	3.5		3.7
15	2018-11-16	121.69	43.67	352	64	175	215	15	311	21	93	64	3.6		3.6
16	2018-11-19	122.67	42.95	254	61	-141	110	47	17	3	285	43	3.5		3.5
17	2018-12-10	119.91	42.29	241	50	-119	84	68	351	1	261	22	3.6		3.6
18	2020-05-28	117.38	44.67	30	62	-125	251	58	144	10	48	30	3.8		4.1
19	2020-06-18	118.09	43.21	121	83	39	247	21	351	32	130	51	3.5		3.5
20	2021-06-08	117.81	43.40	0	41	158	225	21	338	45	118	38	3.5		3.6
21	2021-07-23	122.15	43.04	259	78	-180	123	9	215	9	349	78	3.5		3.6
22	2021-10-15	120.30	44.15	47	71	-139	271	42	170	12	67	46	4.5	4.7	5.1



注：(a)中黑色弧线为所选界面的下半球以等面积投影表示,红色大箭头为压轴的最优方向,红色小箭头为计算得到的理论滑动方向,蓝色大箭头为张轴的最优方向,蓝色小箭头为断层观测的实际滑动方向,绿色弧线为得到的 90%置信度下应力场最大剪应力节面,黄色小箭头为该界面的最大剪应力方向,最优应力轴周围的封闭曲线代表 90%置信度下应力场 S_1 、 S_2 、 S_3 轴的范围；(b)U、D 表示三维空间上、下,E、W、S、N 表示东、西、南、北。

图 8 应力场反演结果

④ 数据源自 GCMT; <http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>



表 4 应力场反演结果

	S ₁		S ₂		S ₃		R 值
	Az/°	ψ/°	Az/°	ψ/°	Az/°	ψ/°	
最优解	70.02	59.86	256.00	30.00	164.50	2.60	0.7
不确定范围	35.67~75.02	40.93~61.85	244~261	28~49	152.5~169.5	0.6~21.6	0.5~0.9

注:S₁表示压缩轴,S₂表示中间轴,S₃表示拉张轴,Az表示走向,ψ表示倾角。

5 讨论与结论

本文通过系统查阅震源区地质构造资料,在距离震中 30km 处发现一条 NW 向断裂构造,名为水泉子沟一天山口断裂,是目前发现的离震中位置最近的一条已知断裂,震中距约 30km。水泉子沟一天山口断裂为 2013 年阿鲁科尔沁旗 5.9 级地震的发震构造,距该 5.9 级地震震中 20km。通过对比震源机制解发现,两次地震震源机制解类型一致,两节面走向较为一致,其节面Ⅱ走向和倾角的角度均为 NW 向,P 轴和 T 轴走向也较为一致,说明两次地震震源应力环境极为相似。余震序列分布显示,余震呈 NW 向排列,进一步说明发震断裂可能为 NW 向。

使用 CAP 方法获取的 2012 年以来震源区及其附近区域 22 个 $M_L \geq 3.5$ 地震的震源机制解结果,发现研究区震源机制解结果分布具有明显的空间特征,通辽至阿鲁科尔沁旗一带的地震震源机制解主要为走滑型,敖汉旗的地震震源机制解为正断型,克什克腾旗一带的地震震源机制解主要为逆断型。造成其震源机制解不同类型的原因可能与其受控构造环境有关,克什克腾旗一带地处大兴安岭隆起带南段,构造环境以挤压隆升作用力为主,地震在挤压逆冲环境中形成,因此震源机制解以逆断型为主。敖汉旗和通辽至阿鲁科尔沁旗地处松辽盆地西南边界,构造环境以拉张沉降作用为主,地震在离散型构造环境中形成以正断或走滑型地震,而正断层和走滑型的具体成因可能与发震断层的性质有关。该区应力场因子研究结果也表明,通辽至阿鲁科尔沁旗构造环境主要为张性环境为主,并且受到 NNW 向拉张和 NEE 向挤压的联合作用,中间应力场具有拉张性质,走向近 EW。

综上所述,2021 年 10 月 15 日发生的赤峰市阿鲁科尔沁旗 4.7 级地震是以 NNW 向拉张为主要作用力的一次走滑型为主、兼具正断层性质的地震,推测其与 2013 年 5.9 级地震的发震构造一致,均为水泉子沟一天山口断裂,两次地震可能分别位于断层的两盘,本次地震是该断裂再次活动的结果。

由于两次地震均未产生地表破裂带,发震构造的地表活断层标志不明显,因此在发震断层的确定上造成了一定的困难;震源区位于大兴安岭隆起区与松辽盆地交汇地带,属地震弱活动区,相关地震构造研究较少,为本次地震发震断裂的确定带来一定难度。通过与 2003 年阿鲁科尔沁旗 5.9 级地震的震源机制解、余震分布方向,以及构造环境对比研究,推测其可能与已探测的水泉子沟一天山口断裂有关,但也有可能是本次地震附近其他与水泉子沟一天山口断裂产状相似的隐伏断裂活动引起。

致谢:本研究的地震波形数据来自内蒙古地震台测震台网,应力场反演使用 ISFM_Ftest 程序(Wan et al,2016;万永革,2015),震源机制平均解计算使用 FMcenter 程序(万永革,2019),在此一并表示感谢。

参考文献

- 车时, 蒋海昆, 付虹, 等. 2014. 中国震例(2003~2006). 北京: 地震出版社, 196.
- 德力格尔, 吴戈. 1989. 1940 及 1942 年通辽地震考察. 东北地震研究, **5**(2): 61~66.
- 杜龙, 周本刚, 王明明. 2009. 2003 年内蒙古巴林左旗 $M_s 5.9$ 地震发震构造. 中国地震, **25**(2): 123~131.
- 高孟潭, 许力生, 郭文生, 等. 2005. 2003 年 8 月 16 日内蒙古 $M_s 5.9$ 地震震害分布特征及其成因分析. 地震学报, **27**(2): 205~212.
- 蒋海昆, 李永莉, 曲延军, 等. 2006. 中国大陆中强地震序列类型的空间分布特征. 地震学报, **28**(4): 389~398.
- 蒋海昆, 杨马陵, 付虹. 2019. 中国震例(2013). 北京: 地震出版社, 152.
- 李金, 蒋海昆, 魏芸芸, 等. 2021. 2020 年 1 月 19 日伽师 6.4 级地震发震构造的初步研究. 地震地质, **43**(2): 357~376.
- 李娟, 舒良树. 2002. 松辽盆地中、新生代构造特征及其演化. 南京大学学报(自然科学), **38**(4): 525~531.
- 刘芳, 曹井泉. 2004. 巴林左旗-阿鲁科尔沁旗 5.9 级地震余震序列精确定位及分布特征. 东北地震研究, **20**(4): 22~27.
- 龙锋, 祁玉萍, 易桂喜, 等. 2021. 2021 年 5 月 21 日云南漾濞 $M_s 6.4$ 地震序列重新定位与发震构造分析. 地球物理学报, **64**(8): 2631~2646.
- 石伟, 赵斌, 张立忱, 等. 2008. 松辽盆地震源机制解及应力场特征的研究. 国际地震动态, (11): 29.
- 孙昭杰, 李金, 黄瑜, 等. 2018. 2015 年新疆皮山 6.5 级地震序列震源机制特征分析. 中国地震, **34**(1): 71~82.
- 谭毅培, 曹井泉, 刘文兵, 等. 2014. 2013 年 3 月涿鹿微震群遗漏地震事件检测和发震构造分析. 地球物理学报, **57**(6): 1847~1856.
- 万永革. 2015. 联合采用定性和定量断层资料的应力张量反演方法及在乌鲁木齐地区的应用. 地球物理学报, **58**(9): 3144~3156.
- 万永革. 2019. 同一地震多个震源机制中心解的确定. 地球物理学报, **62**(12): 4718~4728.
- 徐杰, 高战武, 孙建宝, 等. 2001. 1969 年渤海 7.4 级地震区地质构造和发震构造的初步研究. 中国地震, **17**(2): 121~133.
- 姚立珣, 汪进, 李亚荣. 1992. 用震源机制解确定东北地区地壳应力场. 东北地震研究, **8**(2): 27~32.
- 姚远, 常想德, 谭明, 等. 2016. 2016 年 2 月 11 日新疆新源 5.0 级地震发震构造及房屋震害特点. 地震工程学报, **38**(增刊 II): 319~324.
- 易桂喜, 龙锋, 梁明剑, 等. 2019. 2019 年 6 月 17 日四川长宁 $M_s 6.0$ 地震序列震源机制解与发震构造分析. 地球物理学报, **62**(9): 3432~3447.
- 余中元, 闵伟, 韦庆海, 等. 2015. 松辽盆地北部反转构造的几何特征、变形机制及其地震地质意义——以大安-德都断裂为例. 地震地质, **37**(1): 13~32.
- 张晖, 谭毅培, 马婷, 等. 2021. 2020 年和林格尔 $M_L 4.5$ 地震微震匹配定位及发震构造探讨. 中国地震, **37**(2): 430~441.
- Wan Y G, Sheng S Z, Huang J C, et al. 2016. The grid search algorithm of tectonic stress tensor based on focal mechanism data and its application in the boundary zone of China, Vietnam and Laos. J Earth Sci, **27**(5): 777~785.
- Zhu L O, Helmberger D V. 1996. Advancement in source estimation techniques using broadband regional seismograms. Bull Seismol Soc Am, **86**(5): 1634~1641.

Study on Seismogenic Structure of the Arhorchin $M_s4.7$ Earthquake on October 15, 2021

Li Juan, Zhang Fan, Wei Jianmin, Pei Dongyang

Earthquake Agency of Inner Mongolia Autonomous Region, Huhhot 010010, China

Abstract On October 15, 2021, a $M_s4.7$ earthquake occurred in Arhorchin Banner, Chifeng City, Inner Mongolia. It was the second moderate earthquake in this area since the $M_s5.9$ earthquake in Arhorchin Banner on August 16, 2003. The focal mechanism solution of this earthquake was obtained by CAP method. Compared with the focal mechanism solution of the 2003 $M_s5.9$ earthquake, it was found that the focal mechanism solutions of the two earthquakes were basically consistent. The strikes of nodal plane II are NW, and the strikes of the two earthquakes are respectively NW. Combined with geological structure data, it is determined that Shuiquanzigou-Tianshankou fault is the seismogenic structure of two earthquakes. In our study, the reliable focal mechanism solutions of 22 $M_L \geq 3.5$ earthquakes in and around the focal area since 2012 are obtained. We find that the focal mechanism solutions in Tongliao-Arhorchin area are all strike-slip type. The inversion results of stress field show that the stress field in this area is jointly affected by the NNW tension and NEE compression. The stress shape factor $R = 0.7$ suggests that the intermediate stress field is nearly in EW direction, with tensile properties, and the tectonic environment is mainly tensile. The $M_s4.7$ earthquake may be a medium-intensity earthquake caused by strike-slip dislocation of Shuiquanzigou-Tianshankou fault under the action of tension in NNW and EW direction and compression in NEE direction.

Keywords: The Arhorchin $M_s4.7$ earthquake; Focal mechanism solution; Stress field inversion; Seismogenic structure